Revue Ecosystèmes et Paysages, 2024, 4 (1) : 1-14
https://lbev-univlome.com/revue-ecosysteme-et-paysage/
ISSN Online: 2790-3230

Approche agro-écologique, solution pour améliorer les rendements de maïs (*Zea mays* L.) au Togo

Agroecological approach, solution to improve maize (*Zea mays* L.) yields in Togo

Atakpama Wouyo[1,2], Kokou Kokouvi Bruno[1,3,4], Issifou Abdoumissamilou[1,5], Folega Fousseni[1], Agbati Koffigan[6], Douhadji Ameyo Carla Cynthia Manuella[6], Batawila Komlan[1]

[1]Laboratoire de Botanique et Écologie Végétale (LBEV), Département botanique, Faculté des sciences (FDS), Université de Lomé (UL), 01 BP 1515, Lomé 1, Togo
[2]West Africa Plant Red List Authority (WAPRLA), IUCN Species Survival Commission, Rue Mauverney 28, 1196 Gland, Switzerland
[3]Institut Togolais de Recherche Agronomique (ITRA) B.P. 1163 Lomé Togo
[4]African Centre of Excellence in Neglected and Underutilised Biodiversity (ACENUB), University of Mzuzu, P/BAG 201 LUWINGA, Mzuzu, Malawi
[5]Laboratoire d'Écologie et d'Ecotoxicologie, Faculté des Sciences, Université de Lomé, 01 BP 1515, Lomé 01, Togo
[6]TMSU international, Dalavé, Togo
*Corresponding author : wouyoatakpama@gmail.com

ORCDI des auteurs
Atakpama Wouyo: https://orcid.org/0000-0001-7041-918X Kokou Kokouvi Bruno: https://orcid.org/0009-0006-0852-1232 Issifou Abdoumissamilou: https://orcid.org/0009-0008-6147-250X Folega Fousseni: https://orcid.org/0000-0001-9097-3524 Agbati Koffigan: https://orcid.org/0009-0000-8538-7491 Douhadji Ameyo Carla Cynthia Manuella: https://orcid.org/0009-0003-5096-3956 Batawila Komlan: https://orcid.org/0000-0002-5947-4038

How to cite article: Atakpama Wouyo, Kokou Kokouvi Bruno, Issifou Abdoumissamilou, Folega Fousséni, Agbati Koffigan, Douhadji Ameyo Carla Cynthia Manuella, Batawila Komlan (2024). Approche agro-écologique, solution pour améliorer les rendements de maïs (*Zea mays* L.) au Togo. *Revue Écosystèmes et Paysages*, 4(1), 1-14, e-ISSN (Online) : 2790-3230

DOI : https://doi.org/10.59384/recopays.tg4104

Reçu : 1 mars 2024
Accepté : 15 juin 2024
Publié : 30 juin 2024



Résumé

Le maïs (*Zea mays* L.) est une céréale importante au Togo, tant pour l'alimentation humaine que pour le bétail. Cependant, ses rendements restent encore faibles dus à la faible fertilité des sols et la mauvaise gestion des nutriments. Cette étude a été conduite à la ferme agro écologique SCOOP TIBI à Sagbadai dans la préfecture de Tchaoudjo au Togo. Elle a pour objectif d'intensifier la production du maïs par une utilisation optimale des engrais minéraux et du compost. La variété de maïs Sotoubaka a été utilisée comme matériel biologique. Un dispositif expérimental en split plot composé de quatre répétitions a été installé. Le facteur fertilisant a été composé de sept niveaux : T0 : Traitement sans apport ; T1 : Traitement avec compost (100%) ; T2 : Traitement avec engrais minéral (100 %) ; T3 : Traitement avec compost + 25 % d'engrais minéral ; T4 : Traitement avec compost + 50 % d'engrais minéral ; T5 : Traitement avec compost + 75 % d'engrais minéral ; T6 : Traitement avec compost (125 %). Chaque parcelle élémentaire avait une superficie de 23,04 m². Les paramètres agro-morphologiques du maïs (hauteur), l'efficacité agronomique et la rentabilité ont été évalués. Les résultats ont montré que l'azote est le nutriment le plus limitant suivi du phosphore et du potassium. Le traitement T2 a donné le meilleur rendement en grains, suivi de près par le traitement T5 et T1. Les traitements T2 et T1 se sont avérés les plus efficaces, tandis que les traitements T0, T4 et T6 ont montré les efficacités les plus faibles. En termes de rentabilité, les traitements les plus rentables étaient le T2, le T5 et le T1, avec des ratios compris entre 1,00 et 1,52. De plus, les traitements T2 et T6 semblaient être les plus performants en ce qui concerne les paramètres de croissance.

Mots clés : Agro-écologie, rendement, protection environnementale, fertilisants, maïs.

Abstract

Maize (*Zea mays* L.) is an important crop in Togo, both for human and animal consumption. However, due to poor soil fertility and nutrient management, yields are still low. This study, carried out on the Sagbadai agro-ecological farm in the Tchaoudjo prefecture of Togo, aims to intensify maize production by optimising the use of mineral fertiliser and compost. The biological material used was Sotoubaka maize. A split-plot design with four replications was applied. There were seven levels of fertiliser factor: T0: no input treatment; T1: Treatment with compost (100%); T2: Treatment with mineral fertiliser (100%); T3: Treatment with compost + 25% mineral fertiliser; T4: Treatment with compost + 50% mineral fertiliser; T5: Treatment with compost + 75% mineral fertiliser; T6: Treatment with compost (125%). Each elementary plot had an area of 23.04 m². Maize agronomic parameters (height), agronomic efficiency and profitability were evaluated. Nitrogen was found to be most limiting, followed by phosphorus and potassium. The highest grain yields were recorded for treatments T2, followed by T5 and T1. Treatments T2 and T1 were the most effective, while treatments T0, T4 and T6 were the least effective. Treatments T2, T5 and T1 were the most profitable with ratios ranging from 1.00 to 1.52. Treatments T2 and T6 seem to be the best in terms of growth parameters.

Keywords: Agro-ecology, yield, environmental protection, fertiliser, maize

1. Introduction

La baisse constante de la fertilité des sols, combinée à des systèmes de culture inadaptés, constitue l'une des principales contraintes pour l'agriculture en Afrique subsaharienne. Cette perte de la fertilité des sols a des impacts locaux importants sur les revenus des populations paysannes et la nutrition des populations. La restitution au sol des éléments fertilisants prélevés par les récoltes n'est possible qu'en utilisant tant les engrais organiques que chimiques.

L'utilisation des engrais chimiques, de par leur action bénéfique immédiate sur la productivité des cultures, apparait comme une des solutions immédiates. Cependant, leur coût élevé et leur faible disponibilité les rendent presque inaccessibles pour les petits paysans. Une dépendance continue aux fertilisants chimiques pourrait être accompagnée par une chute de la teneur en éléments organiques avec augmentation de l'acidité du sol, la dégradation des propriétés physiques augmentant ainsi le taux d'érosion dû à l'instabilité des agrégats du sol. Cette situation affaiblit les systèmes de production et diminue leur capacité à subvenir aux besoins des populations. Le recours aux engrais organiques comme les fumiers reste une option peu onéreuse au regard du niveau de vie des agriculteurs.

Les engrais organiques de par leurs effets bénéfiques sur les propriétés physico-chimiques et biologiques du sol, et donc sur la croissance des plantes permettraient de rendre plus efficace l'utilisation de doses modestes d'engrais minérales. Les ressources organiques assurent plusieurs fonctions dans le sol, allant de leur influence sur la disponibilité des nutriments à la modification de l'environnement du sol dans lequel les plantes croissent. Plusieurs travaux signalent qu'un apport d'amendement organique par les producteurs est une alternative de gestion des cultures visant à réduire ou à éliminer les intrants synthétiques. Ces amendements contribuent à l'amélioration de la qualité (fertilité, structure, activité biologique) du sol et réduisent des pertes dues aux phytoparasites, réduisent la pollution environnementale et augmentent la récolte et les rendements . Les recherches récentes ont démontré que des apports de ces produits augmentaient les niveaux de matière organique dans le sol, la capacité d'échange cationique, la biomasse microbienne et leurs activités (Mulaji Kyela 2011; Sadi et al. 2020; Tchowa et al. 2023). De plus, l'amendements organiques des sols pauvres et acides permet de fournir les éléments nutritifs nécessaires à l'alimentation, la croissance et la production des plantes cultivées (Yannick et al. 2012).

En Afrique subsaharienne, le maïs reste la culture alimentaire de base la plus largement pratiquée. Les rendements moyens régionaux peuvent atteindre 1,7 t/ha en Afrique de l'Ouest, 1,5 t/ha en Afrique de l'Est et 1,1 t/ha en Afrique australe. Au Togo, il occupe une place importante dans la production céréalière avec un rendement moyen en maïs grain de 1,24 t/ha en 2019. Ces valeurs varient d'une région à une autre : région centrale 1,53 t/ha, région des Plateaux 1,42 t/ha, région des savanes 1,23 t/ha, 0,87 t/ha en région Maritime et région de la Kara 0,85 t/ha (Zimar 2023). Malgré son fort potentiel de rendement, la culture du maïs est caractérisée par une faible productivité, liée à la baisse de la fertilité des sols, une mauvaise répartition des pluies au cours des campagnes agricoles et la faible utilisation des intrants. Face à cette situation, l'utilisation de la matière organique est

suggérée.

En Afrique subsaharienne, une analyse de la situation sur la sécurité alimentaire montre un écart croissant entre les besoins de consommation et les disponibilités alimentaires. Cette situation entraine une malnutrition et une sous-alimentation marquée. D'ici 2050, cette situation pourrait s'aggraver. Augmenter la production de maïs reste donc une possibilité de lutter contre l'augmentation du taux de pauvreté et de sous-alimentation. C'est dans cette optique que s'oriente cette étude qui envisage d'intensifier la production du maïs par une utilisation optimale des engrais organiques et à faible impact environnemental. Plus spécifiquement il s'est agi d'évaluer l'efficacité des engrais organiques et minéraux sur les rendements du maïs.

2. Méthodes

2.1. Description du site d'expérimentation

Située au centre du Togo, la Région Centrale couvre une superficie d'environ 13 182 km² (Figure 1). Elle est la deuxième plus vaste région économique du Togo après la région des Plateaux. Administrativement, cette région compte cinq (5) préfectures. La Région Centrale est traversée par trois zones écologiques : II, III et IV. La zone écologique II où se retrouve le site d'expérimentation est sous l'emprise d'un climat soudanienne de montagne. Les agrosystèmes sont dominants au niveau des plaines. On y rencontre aussi des forêts denses sèches, des forêts claires et des mosaïques de savanes en particulier dans les aires protégées. Le relief est constitué par une alternance de plaines, de vallées et de plateaux dominés par de vieux massifs accidentés aux aspects assez contrastés qui varie en fonction des zones écologiques. Les principaux sols rencontrés sont : les sols ferrugineux tropicaux, les vertisols, les sols ferralitiques, les sols peu évolués d'érosion et les sols hydromorphes. Le régime climatique est du type soudano-guinéen. Les précipitations varient entre 1000 mm et 1400 mm. La population totale de la Région s'élève à environ 795,529 habitants ayant pour ethnie majoritaire les kotokoli. Les rendements en maïs grain dans cette région s'élève à 1,53t/ha (Lare et al. 2022).

L'expérimentation a été menée principalement dans la ferme agro écologique SCOOP TIBI. Cette ferme école est située dans le village de Sagbadai, à environ 10 km à l'ouest de la ville de Sokodé, chef-lieu de la région Centrale du Togo.

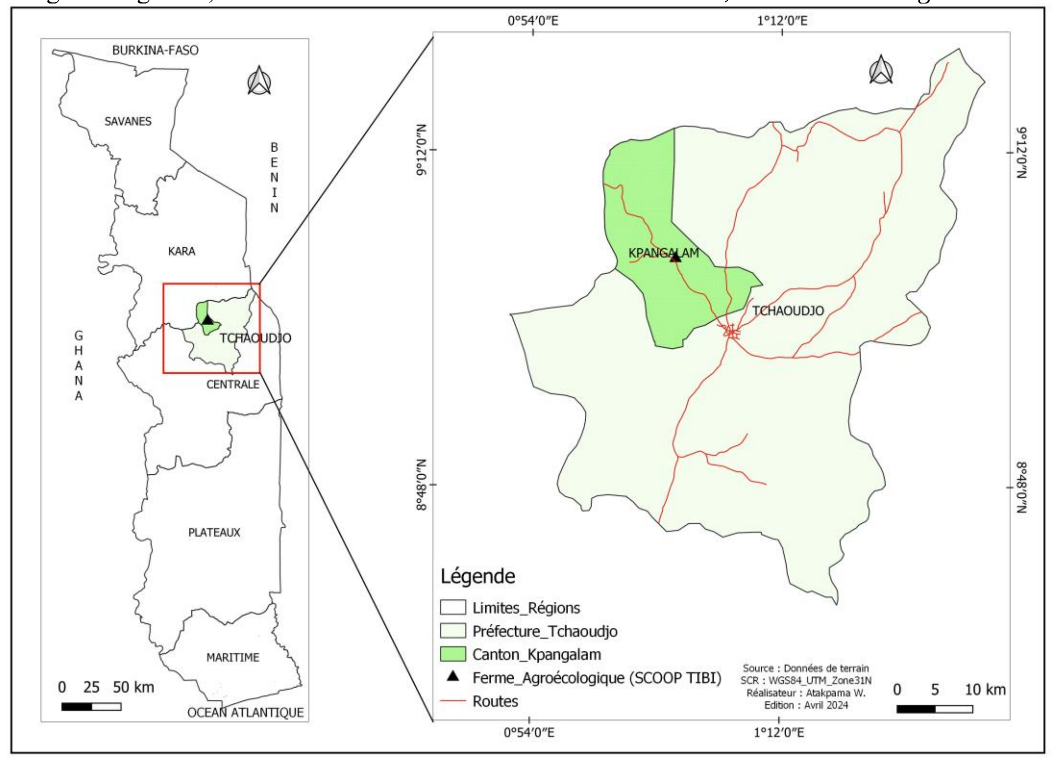


Figure 1. Carte de localisation de la zone d'étude

2.2. Matériel d'étude

Le matériel végétal utilisé dans le cadre de cette recherche est la variété de maïs Sotubaka (*Zea mays* L). Elle a un cycle cultural de 90 - 100 jours avec un rendement moyen en station variant entre 3,5 et 4 t ha-1. Cette variété est choisie à cause de l'importance relative de production dans la zone d'étude par suite d'échange avec les membres de la coopérative.

2.3. Dispositif expérimental

La figure 2 montre le dispositif expérimental utilisé, qui est un dispositif en blocs complets randomisés de 7 différentes modalités de fertilisation, 4 répétitions avec en facteur la fertilisation d'engrais minérales et du compost. La distance entre deux (2) blocs consécutifs était d'un (1) m de même que celle entre deux (2) parcelles consécutives. Le semis a été fait à trois (3) grains par poquet selon un schéma cultural 0,80 m × 0,40 m et démarié à 1 plant par poquet. Le semis a été fait manuellement à la main à la date du 18 mai 2023. Dans chaque parcelle élémentaire, il y'avait 6 lignes et sur chaque ligne, 12 poquets soit une densité de 31 250 plants/ha. Quant à la fertilisation, elle a été faite manuellement le long de la ligne de semis à environ 5 cm du plant en respectant la dose spécifique par traitement. La pesée des engrais et du compost par ligne de semis a été faite à l'aide d'une balance électronique.

La superficie de la parcelle élémentaire était de 23,04 m^2 soit 4,8 m x 4,8 avec 72 poquets installés en ligne droite. La figure 2 présente respectivement le dispositif expérimental et le plan parcellaire.

La pluviométrie moyenne de la région est de 1960 mm et les sols ferrugineux tropicaux sont dominants et le dernier rapport de la carte de fertilité des sols du Togo ha (Zimar 2023). Il ressort qu'environ 61 % des sols sont pauvres en matière organique (MO), 98 % très pauvres en phosphore (P) et 85 % très pauvres en potassium (K). Sur base de ces résultats, dans la préfecture de Tchaoudjo, un apport de 4 sacs de 50 kg de NPK et 2 sacs d'urée et pour le compost/matière organique, en moyenne 4 tonnes à l'hectare a été adopté. Les doses expérimentales des intrants NPK_15_15_15 et de l'Urée à 46% appliquées au cours de la présente étude sont entre autres : 0, 25, 50, 75, 100 et 125. À cet effet, 4 blocs (répétition) ont été installés avec 7 traitements.

L'entretien des essais a consisté à faire un démariage à un plant par poquet au 20 ème JAS, deux sarclages, binages (pour enfouir l'engrais) et en un buttage. Le premier sarclage a été effectué deux semaines après semis (15 JAS) et le deuxième a été réalisé à 5 semaines après semis (35 JAS). Le binage a été fait après chaque apport d'engrais. L'urée a été apportée au 35 JAS.

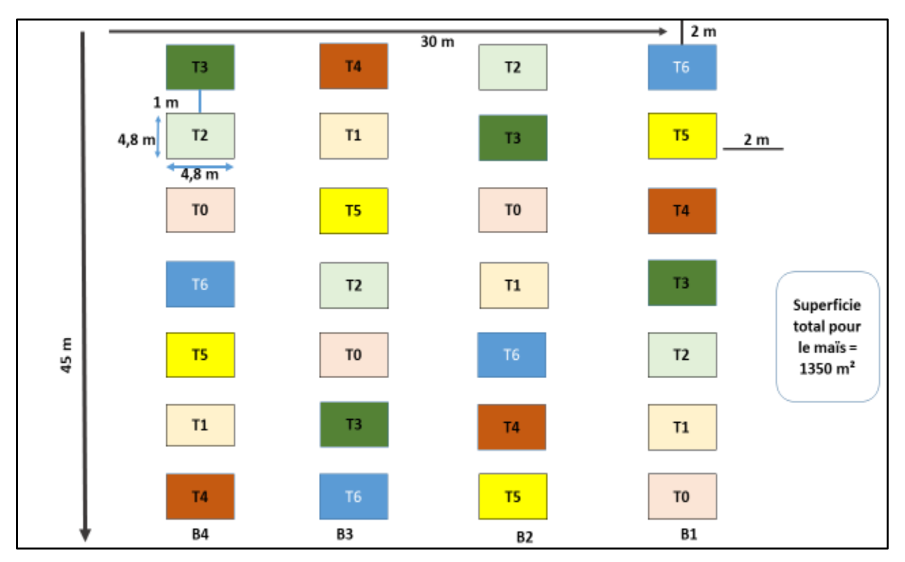


Figure 2. Dispositif expérimental

T0 : Traitement sans apport ; T1 : Traitement avec compost (100%) ; T2 : Traitement avec engrais minéral (100 %) ; T3 : Traitement avec compost + 25 % d'engrais minéral ; T4 : Traitement avec compost + 50 % d'engrais minéral ; T5 : Traitement avec compost + 75 % d'engrais minéral ; T6 : Traitement avec compost (125 %).

2.4. Caractérisation des paramètres de fertilité du sol et de la croissance du maïs

Des prélèvements de sols (0-20 cm) ont été faits à raison d'un échantillon composite issu de 7 échantillons élémentaires dans chaque répétition avant labour (manuellement) (Tableau 1 et 2). Une tarière, un seau de 5 litres et des sachets plastiques ont été utilisés pour ces prélèvements. Les paramètres chimiques tels que Carbone organique, Azote total, Phosphore assimilable (Olsen), pH, Potassium, la capacité d'échange cationique (CEC) et la conductivité électrique ont été analysées au laboratoire Sols-Engrais-Eau-Végétaux, de l'Institut Togolais de Recherche Agronomiques (ITRA). Cette analyse a été réalisée selon la méthode en vigueur au Laboratoire des sols (Tableau 1) de l'ITRA et la normes d'évaluation de la qualité des sols. L'interprétation des résultats d'analyse de sol est basée sur les critères présentés dans le Tableau 2. L'évaluation des niveaux de fertilité des sols a été appréciée suivant les critères d'évaluation des classes de fertilité rapportée par présenté dans le tableau 3.

Tableau 1. Analyse des échantillons au laboratoire

Paramètres	Méthodes d'analyses
Analyses Granulométriques	Tran Vin An
Analyses Physico-chimiques	
pH-eau	pH-mètre avec (1/2,5) comme ratio sol-eau
Carbone	Walkley et Black
Phosphore Assimilable	Bray et Kurtz, 1945
Capacité d'Échange Cationique (CEC)	Méthode de Kjeldahl
Matière Organique	Walkley et Black
Azote	Kjeldahl Hhillebrand
Cations échangeables (Ca, Mg Na et K)	Spectrophotométrie à Absorption Atomique et l'aluminium échangeable

Tableau 2. Normes d'évaluation de la qualité des sols.

Valeurs seuil de référence suivant l'approche de									
Paramètres	M	C	N	C/N	P ass	Ca	Mg	Na	CEC
Valeur de seuil	3,6- 6.5	1,6- 2, 5	1,2- 2,2	11,0-15	3,0- 8	5,0- 8	1,5- 3	0,15- 0,25	10 ≤ CEC ≤20

Légende : CEC : capacité d'échange cationique ; Mg++ : Magnésium ; A.E : Acidité d'échange MO : matière organique ; C : Carbone ; K+ : Potassium ; Na+ : Sodium CA++ : Calcium ; Pass : Phosphore assimilable ; N : Azote ; MO : matière organique ; C : Carbone ; C/N : Rapport Carbone Azote.

Tableau 3. Critères d'évaluation des classes de fertilité des sols.

	Niveau de fertilité				
	Très élevé	**Élevé**	**Moyen**	**Bas**	**Très Bas**
Caractéristique	Degré 0	Degré 1	Degré 2	Degré 3	Degré 4
MO (%)	> 2	2-1,5	1,5-1	1-0,5	< 0,5
N (%)	> 0,08	0,08-0,06	0,06-0,045	0,045-0,03	< 0,03
Pass (cmol+/kg)	> 20	20-15	15-10	15-05	< 5
K+ (cmol+/kg)	> 0,4	0,4-0,3	0,3-0,2	0,2-0,1	< 0,1
Somme des cations (cmol+/kg)	> 10	10-7,5	7,5-5	5,0-2	< 2
CEC (cmol+/kg)	> 25	25-15	15-10	10,0-05	< 5
pH	5,5-6,5 6,5-8,2	5,5-6,0 6,5-7,8	5,5-5,3 7,8-8,3	5,3-5,2 8,3-8,5	< 5,2 >8,5

Légende : CEC : capacité d'échange cationique ; MO : matière organique ; K+ : Potassium ; Pass : Phosphore assimilable ; N : Azote ; MO : matière organique

Les mesures de la hauteur des plantes ont été réalisées à trois dates différentes à savoir au 15ième jour, au 40ième jour et 100ième jour. Les hauteurs ont été prises à ces différentes dates afin d'évaluer l'effet de chaque apport sur la croissance du maïs. La hauteur de la plante est exprimée en centimètre (cm) et représente la hauteur du plant du sol jusqu'au sommet de la dernière feuille, pour les deux premières mensurations et du sol jusqu'au sommet à la cime au 100ème jour. Ces mesures ont été faites sur 12 plants dans chaque parcelle élémentaire à l'aide d'une règle.

2.5. Évaluation du rendement et de l'efficacité agronomique

La récolte a été faite manuellement à la date du 27 août 2023, soit environ 3 mois après semis. Les épis de maïs récoltés sur les trois lignes du milieu et les paramètres de rendement ont été ajustés au taux d'humidité de 14 %. Les épis ont été mis dans des enveloppes kaki préalablement puis séchés à l'étuve à une température de 70° afin d'accélérer le séchage, 24 heures avant d'être égrainé à la main. Le poids de 1 000 grains (grains pris sur la partie médiane de l'épi) et le rendement en grain de maïs ont été mesuré. Les rendements en grains ont été calculés selon la formule suivante.

$RdtG = \left(\frac{10000}{SU}\right) * \left(\frac{PG}{1000}\right)$ Avec PG =Poids Grains sec ; SU = 9,6 m^2 (surface utile récoltée) ; 1 ha=10 000 m².

Dans chaque carré, le poids frais et sec des grains/épi et le poids des 1 000 grains ont été mesurés. À défaut d'un compteur de grain, ils ont été comptés à la main et pesés sur une balance électrique. Une balance électronique d'une capacité de 8 kg a été utilisée pour les mesures de masse.

L'efficacité agronomique (EA) traduit l'augmentation du rendement par unité de nutriment appliquée. Elle se calcule par la formule suivante : EA = (Y–Y0)/F avec : F : quantité (d'engrais) appliquée (kg/ha) ; Y : rendement des cultures avec application

d'engrais (kg/ha) ; Yo : rendement des cultures (kg/ha) dans un traitement témoin sans engrais. L'EA d'azote (N) pour les céréales varie de 10 à 30 kg de rendement par kg de N. L'EA de phosphore (P) quant à elle varie de 20 à 50 kg de rendement de céréales par kg d'application de P (Dobermann 2007).

2.6. Évaluation de la rentabilité

L'analyse économique cherche à trouver le traitement d'engrais le plus rentable. En effet, la rentabilité de l'utilisation des engrais est l'un des facteurs clés qui déterminent l'adoption du traitement et donc la quantité d'engrais utilisée. Dans ce contexte, le ratio valeur coût (RVC) des engrais est utilisé pour déterminer les avantages économiques de chaque traitement pour la production de maïs. Le RVC indique la valeur du rendement supplémentaire produit par unité d'argent investie dans les engrais comme le montre l'équation suivante : RVC = (produit supplémentaire du maïs dû à l'utilisation d'engrais (kg/ha) × prix des céréales (F CFA/kg)) / (quantité d'engrais appliquée × coût de l'engrais (F CFA/kg)). Une valeur du RVC supérieur à 1 signifie un bénéfice net alors qu'une valeur du RVC inférieur à 1 signifie une perte nette tant que d'autres intrants de production tels que la main-d'œuvre, le coût des semences ne sont pas modifiés à la suite de l'application d'engrais. Une valeur du RVC de 2 est considérée comme le seuil critique pour adopter l'utilisation d'engrais. Cette évaluation est faite sur la base du prix de revient du kilogramme du rendement grains et du prix de l'engrais (sacs de 50 kg). Les différentes formules ont été converties en sacs de 50 kg en fonction des engrais disponibles au Togo (NPK :15-15-15 et l'Urée : 46 %N), le prix des engrais était à 18 000 F CFA et le bol de 2,5 kg du maïs à Sokodé dans la région centrale fixé à 600 F CFA (Lare et al. 2022).

2.7. Tests statistiques

Les données brutes sur les paramètres végétatifs et de rendement ont été analysés à l'aide du logiciel R 4.0.3. Le package ggplot2 a été utilisé pour les box plots. L'analyse de la variance (ANOVA) a permis de ressortir les différences entre traitements et la comparaison des moyennes à l'aide du test de Tukey.

3. Résultats

3.1. Caractéristiques du sol

Les résultats d'analyse de sols du site d'essai sont consignés dans le (Tableau 4). Le pH du sol est en moyenne 9,56 avec une proportion d'azote qui varie entre 98 % et de phosphore assimilable entre 0,89 %. Le sol a une teneur en carbone de 14,9 % et une teneur en matière organique de 25,68 %.

Tableau 4. Analyses de sol du site avant installation de l'essai

Paramètres	E1	E2	E3	Moyenne
Matière Organique (%)	1,22	1,72	1,60	1,50
Carbone	0,71	1,00	1,00	0,90
Azote total	0,06	0,06	0,00	0,10
C/N	12,68	17,17	16,00	15,30
Phosphore assimilable (ppm)	1,92	10,17	2,00	4,80
Potassium (mg/kg)	101,40	163,80	74,00	113,10
Salinité (CE) 1/5 (µs/Cm)	43,01	79,40	64,00	62,10
pH eau (1/2.5)	6,37	7,20	7,00	7,00

3.2. Impact d'engrais sur la croissance des plants de maïs

Une évolution progressive de la hauteur des plants de maïs a été notée du 15ème, 40ème au 100ème JAS pour tous les traitements. La présence de différence entre la taille des plants de différentes modalités au 15ème JAS, serait liée à l'état de fertilité initiale du sol qui est hétérogène et qui offre aux plants (jeunes et encore moins exigeants) de toutes les parcelles, un développement optimal. Des différences dans le développement se sont donc fait remarquer. Le traitement T4, T6 et T2 ont eu la plus grande vitesse de croissance en hauteur suivie des traitements T5, T3 et T1. Le traitement T0 a respectivement une vitesse de croissance en hauteur plus faible. L'analyse de la variance (ANOVA) de la hauteur des plants au 15ème JAS a montré une différence significative ($p<0,05$) entre les traitements. Le traitement T0 est significativement plus élevé que les autres traitements.

La hauteur des plants au 40ème et 100ème JAS a montré une différence significative ($p<0,05$) entre les traitements. Le traitement T6 présente la plus grande hauteur (Tableau 5). En effet, la hauteur des plants du traitement T6 est significativement plus élevée que la hauteur des traitements T0, T1, T3 et T5. Les trois derniers ont une hauteur significativement plus grande que les traitements T0. Par contre, aucune différence significative n'est notée entre T6, T4, et T2. L'omission de l'azote affecte plus négativement la hauteur des plants de maïs suivi de l'omission du potassium et du phosphore.

Tableau 5. Effets des différentes doses d'engrais/compost sur la hauteur des plants

Modalités	H1 cm (15 JAS)	H2 cm (35 JAS)	H3 cm (100 JAS)
T0	15,00	67,33	170,66
T1	12,33	90,66	190,00
T2	11,00	75,41	200,00
T3	10,58	79,83	198,00
T4	12,16	84,66	183,41
T5	13,00	86,16	191,25
T6	12,58	92,91	191,41

3.3. Impact des dosages d'engrais sur le rendement

Les traitements ont significativement influencé (p<0,05) les composantes du rendement (Figure 3). Quant aux poids grains par épis, les valeurs les plus élevées ont été enregistrées avec les traitements T2, T5, T1 et T4. Ces poids sont significativement plus importants que ceux des traitements T0. Enfin, pour le poids de 1000 grains, les traitements T2, T3, T4 et T5 ont eu le poids de 1000 grains les plus importants avec 265 ; 271,45 et 285g respectivement et le poids le plus petit a été obtenu au niveau du traitement T0 (témoin) avec 216 g.

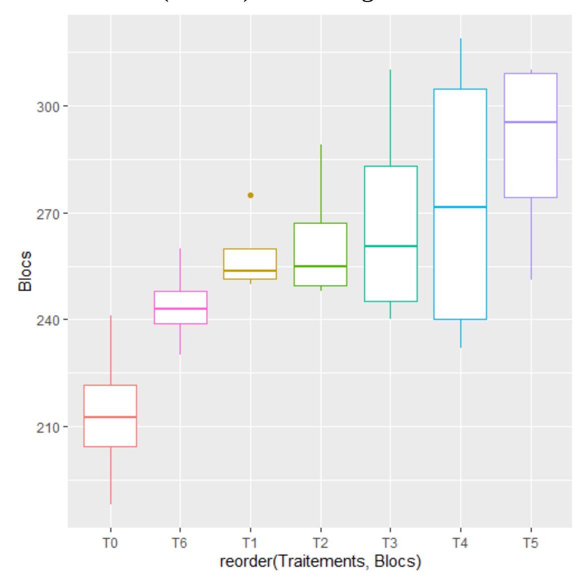


Figure 3. Effets des doses d'engrais/compost sur le poids de 1000 grains

3.4. Rendements du maïs

Le test statistique montre des différences significatives (P<0,05) de rendements du maïs entre les traitements (figure 4). Quant au rendement en grains, le traitement T2 a enregistré le meilleur rendement avec 2,3 t/ha. Les traitements T5, T1, T4, T3 et T6 ont des rendements grains significativement plus importants de celui du traitement T0. Le traitement T2 a favorisé de manière significative le rendement en grains avec un surplus variant entre 200 et 800 kg/ha par rapport au traitement T0 (Tableau 6). Il faut noter que les traitements à faible rendement en grains sont les traitements T0, T6, T3 et T4 avec un rendement en grains qui varie entre 1,5 et 1,7 t/ha (Figure 5).

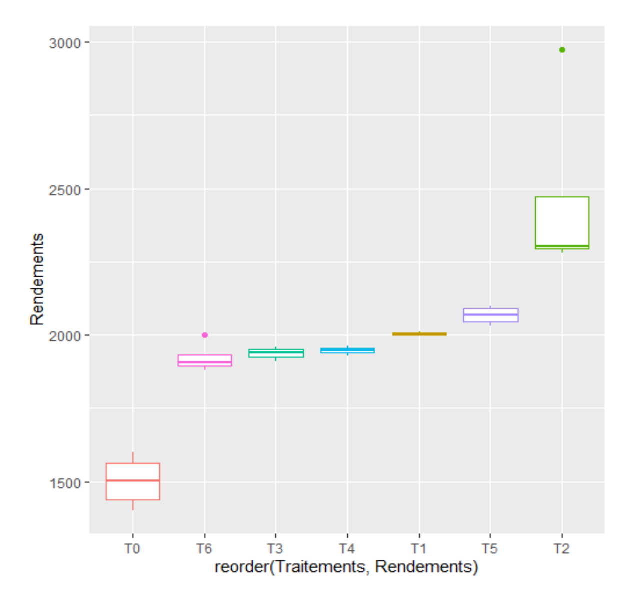


Figure 4. Effets des doses d'engrais sur le rendement en maïs grains

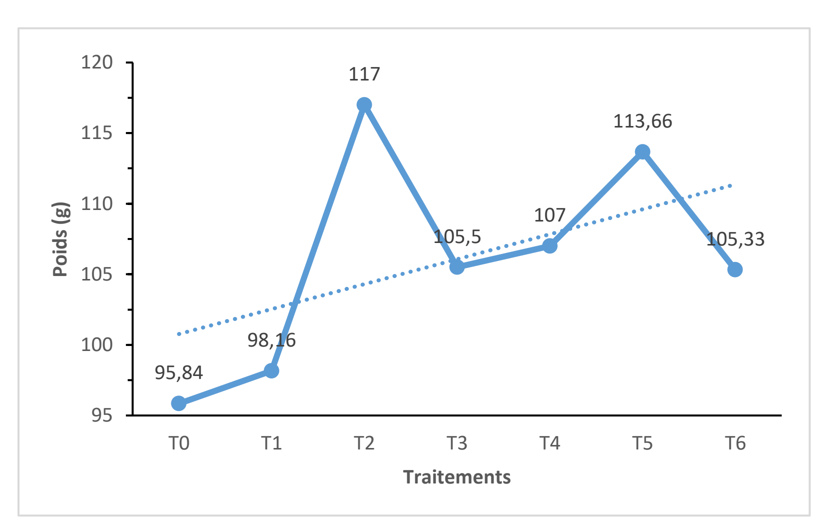


Figure 5. Poids secs des épis en fonction des modalités

Tableau 6. Poids moyens du rendement

Traite-ments	Rendements grain (kg/ha)
T0	1552
T1	2011
T2	2300
T3	1950
T4	1964
T5	2088
T6	1911

3.5. Efficacité agronomique

Le tableau 7 montre une différence de rendement des traitements sur le contrôle s'explique par l'efficacité agronomique (AE) de tous les nutriments appliqués. Les efficacités agronomiques de N (AEN), de P (AEP) et de K (AEK) pour la culture du maïs sont consignées dans le tableau ci-dessous. Une grande variation a été notée entre les traitements en ce qui concerne l'AEN, l'AEP et l'AEK. EAN varie de 7 à 24 kg de grains/kg de N appliqué, AEP varie entre 8 à 24 kg de grains/kg de P appliqué et AEK quant à elle varie de 10 à 24 kg de grains/kg de K appliqué. Ainsi les traitements T2, et T1 ont eu les plus grandes efficacités et les traitements T0, T4 et T6 ont enregistré des efficacités plus faibles.

Tableau 7. Efficacité agronomique

Traitements	Rendements grain (kg/ha)	N	P	K
T0	1552			
T1	2011	9,18	12,89	18,50
T2	2300	24,93	24,93	24,93
T3	1950	8,37	9,23	12,32
T4	1964	7,49	8,142	10,35
T5	2088	8,57	9,22	11,33
T6	1911	7,18	9,30	11,58

3.6. Rentabilité économique

Le tableau 8, montre l'analyse de la rentabilité économique des traitements pour la variété étudiée a montré une variabilité en fonction des traitements. Les traitements T2, T5 et T1 sont les plus rentables avec des ratios variant entre 1,00 et 1,52 comparés aux traitements T0, T3, T4 et T6 qui ont enregistré des rentabilités plus faibles caractérisées par des ratios compris entre 0 et 0,87. Les traitements T2, T3 et T6 ne sont pas rentables. De plus, une perte est notée sur le traitement T0

Tableau 8. Ratio valeur coût.

Traitements	RVC
T0	0
T1	1,00
T2	1,52
T3	0,85
T4	0,87
T5	1,11
T6	0,63

4. Discussion

4.1. Effet des traitements sur les paramètres de croissance des plants de maïs

Les différents traitements ont influencé les paramètres de croissance des plants de maïs. En effet, le traitement T2 basé sur la recommandation d'engrais NPK-15-15-15 et urée-46 % a produit une hauteur plus élevée au 100ème JAS que la hauteur du traitement T0 basé sur la pratique sans apport. La différence est significative entre les traitements. Ces résultats corroborent avec ceux de Nyembo et al. (2012) qui ont obtenu les mêmes résultats sur le maïs en RDC dans la ville de Lubumbashi, ont obtenu une hauteur avec T7 plus élevée que la hauteur au niveau du TR et une hauteur du T7 significativement plus élevée que la hauteur du T5 au 60 JAS. L'apport d'engrais a influé sur la hauteur de la plante. La comparaison des apports d'engrais montre une faible taille sur les parcelles sans engrais alors que les autres traitements ont été similaires entre eux. Ceci révèle que l'apport d'engrais a de l'influence sur la taille des plantes. La différence entre le traitement sans engrais et les autres traitements est probablement due à la présence de l'azote dans l'engrais de fond et d'appoint apporté. L'azote est un élément important pour la vie de la plante et sert à construire toutes les parties vertes qui assurent la croissance et la vie des plantes . Le résultat obtenu est en adéquation avec ceux obtenus par d'autres chercheurs au Sénégal.

4.2. Effet des traitements sur les composantes du rendement

Le poids des grains par épi le plus important a été enregistré au niveau du traitement T2. Une plus grande taille d'épi peut être le résultat d'une activité photosynthétique améliorée suivie d'une utilisation efficace du N appliqué, d'un transfert efficace des

métabolites et de l'accumulation subséquente de ces métabolites dans l'épi . Le traitement T2 a eu un poids de 1000 grains plus élevé par rapport aux traitements T0, T3 et T6. Le poids des 1000 grains du T2 le plus élevé pourrait s'expliquer par une augmentation de la teneur en chlorophylle dans les feuilles, ce qui conduit à une photosynthèse plus importante pendant le développement du grain. Toutefois, les épis trouvés sur les parcelles non fertilisées avaient un poids faible (86g) par rapport à ceux des parcelles fertilisées. Ceci serait dû à la disponibilité des éléments nutritifs comme l'azote par l'engrais, car permettant d'accroitre le rendement et ses composantes. Plusieurs auteurs ont trouvé des résultats similaires lors de leur recherche sur la nouvelle variété de maïs à Lubumbashi en RDC, montrant ainsi, l'importance de l'engrais dans l'accroissement du poids de l'épi. Bien que l'apport de NPK ait accru le poids de l'épi, cependant le moment d'apport est d'importance capitale. En effet, épandre l'engrais au moment de semis permet d'obtenir des épis de grand poids que lorsqu'il est épandu 10, 20 ou 30 jours après levée. Cette situation serait due à la synchronisation entre la libération des éléments nutritifs par l'engrais et leur assimilation par la plante étant donné que la décomposition du NPK est lente.

4.3. Effet des traitements sur le rendement du maïs

Des différences d'effets entre les traitements sur le rendement ont été notées. En effet, la gestion spécifique des éléments nutritifs par l'application d'engrais NPK et Urée (T2) a enregistré un rendement grain significativement plus important que l'application d'engrais basée sur la pratique d'utilisation de compost (T1) et l'application d'engrais combinée au compost à différente dose. Ces résultats sont en phase avec ceux de qui montrent un rendement en grains du T7 significativement plus important que le T5 dans 22 champs d'agriculteurs sur le maïs hybride répartis sur 5 sites en Indonésie. Ces résultats corroborent également ceux de qui renseignent d'un rendement grain du T7 significativement plus important que celui du T5 sur le maïs hybride dans l'est du Térai du Népal. Le rendement grain du T2 plus élevés que celui du T0, T3 et T4 peut être attribué à un meilleur ajustement dans l'application des éléments nutritifs pour répondre aux besoins spécifiques des cultures . Il peut être aussi attribué à un meilleur moment d'application des engrais augmentant ainsi la disponibilité des nutriments aux phases physiologiques critiques se traduisant par une meilleure croissance et enfin une augmentation du rendement grain . La performance du T2 pourrait principalement être attribuée à une application équilibrée des éléments nutritifs plutôt qu'à l'augmentation des taux d'éléments nutritifs .

4.4. Efficacité agronomique

L'efficacité agronomique (AE) est l'augmentation du rendement par unité de nutriment appliquée. Elle dépend en grande partie des pratiques de gestion des nutriments . Ainsi, les AEN des traitements paraissent faibles sauf pour le T2 (24 KG) comparer à l'intervalle donné par surtout pour le T0, T3, T4 et le T6. Une variation de l'AE a été notée entre les différents traitements et les différents nutriments. En effet, le traitement T2 a eu des meilleurs AE pour le N, le P et le K. ont trouvé une AEN du T7 (utilisation d'intrant) plus importante que celle du T5 (sans apport ou témoin) en Inde sur le maïs et le blé, ce qui corrobore nos résultats, ont constaté une AEN plus importante sur l'application des éléments nutritifs basée sur l'application des éléments nutritifs basée sur le maïs. Les AEP et AEK sont plus importantes que l'AEN pour le traitement T1. Cela pourrait s'expliquer par le fait que la quantité de N appliquée est plus importante que celle de P et de K appliquées .

4.5. Rentabilité des engrais

Les calculs effectués au cours de l'analyse économique ont révélé un gain de rendement et une rentabilité économique pour chaque dose d'engrais apporté. Une formule d'engrais est économiquement rentable lorsque son RVC>1. Ainsi, le traitement T2, T5 et T1 sont rentables, contrairement au traitement TO, T3, T4 et T6 ne sont pas rentables. Le traitement T2 est plus rentable que le traitement T5 et T1. Cependant, nous avions observé une augmentation de la rentabilité économique de la production du maïs avec la formule T2 (NPK-15-15-15 à 4 sacs/ha) qui donne le meilleur ratio valeurs/coûts par rapport aux autres formules T5 (NPK+compost) et T1 (compost). Cela se justifie par le fait que le rendement maximal est atteint en T2, ce qui démontre ainsi que la rentabilité n'est pas une fonction linéaire des formules appliquées. Nos résultats vont aussi dans le même sens que ceux de qui ont montré que la rentabilité économique n'est pas une fonction linéaire des formules appliquées.

5. Conclusion

L'azote est le nutriment le plus limitant du rendement en grain du maïs dans les conditions pédoclimatiques de la zone d'étude. Il est suivi par P et K. Une augmentation considérable du rendement grain en fonction des traitements et même pour les composantes du rendement est observée. Une différence significative de la hauteur des plantes, le poids des épis et poids grains par épi a été notée entre les traitements. Les différentes doses d'engrais ont eu des effets sur le développement et la croissance des plantes. Les traitements T1, T2 et T5 ont donné les meilleurs rendements grain. Les faibles rendements grain sont obtenus avec le traitement sans apport d'engrais. Les modalités d'engrais et du compost utilisés au T1, T2 et T5 ont données le meilleur ratio Valeur/coût comparé aux autres modalités d'engrais. La formulation de la combinaison d'engrais et du compost comme obtenu au T1 et T5 peut être recommandée pour la culture du maïs dans la Région Centrale, ceci dans le but d'une gestion durable des terres. Aux termes de cette étude, nous suggérons que soit repris les études de validation sur plusieurs années.

Remerciement

La présente étude a été subventionnée par l'Institut International pour l'Environnement et le Développement (IIED) dans le cadre du développement d'un programme de recherche-action, « Inverser la dégradation de l'Environnement en Afrique et en Asie (REDAA) » qui vise à catalyser la recherche, l'innovation et l'action menées localement pour aider l'homme et la nature à prospérer ensemble. Le bénéficiaire local de cette subvention est la SCOOPS TIBI basée à Sokodé dans la préfecture de Tchaoudjo, Région Centrale du Togo.

Contribution des auteurs

Rôle du contributeur	**Noms des auteurs**
Conceptualisation	Atakpama Wouyo
Gestion des données	Atakpama Wouyo, Kokou Koukouvi Bruno
Analyse formelle	Atakpama Wouyo, Kokou Koukouvi Bruno
Acquisition du financement	SCOOPS TIBI
Enquête et investigation	Atakpama Wouyo, Kokou Koukouvi Bruno
Méthodologie	Atakpama Wouyo, Kokou Koukouvi Bruno, Issifou Abdoumissamilou, Folega Fousseni
Gestion de projet	Batawila Komlan, Folega Fousseni
Ressources	Batawila Komlan
Logiciels	Atakpama Wouyo, Kokou Koukouvi Bruno
Supervision	Folega Fousseni, Batawila Komlan
Validation	Folega Fousseni, Batawila Komlan
Visualisation	Folega Fousseni, Atakpama Wouyo
Écriture – Préparation	Atakpama Wouyo, Kokou Koukouvi Bruno
Écriture – Révision	Issifou Abdoumissamilou, Folega Fousseni, Agbati Koffigan, Douhadji Ameyo Carla Cynthia Manuella

Références

Abawi, G. S., & Widmer, T. L. (2000). Impact of soil health management practices on soilborne pathogens, nematodes and root diseases of vegetable crops. *Appl. Soil Ecol.*, *15*(1), 37-47. doi: https://doi.org/10.1016/S0929-1393(00)00070-6

Agbodan, K., Akpavi, S., Amegnaglo, K., Akodéwou, A., Diwediga, B., Koda, D., . . . Akpagana, K. (2019). Connaissances écologiques locales sur les indicateurs de dégradation des sols utilisées par les paysans dans la zone guinéenne du Togo (Afrique de l'ouest). *REV. RAMRES – Sci. Vie Terre Agron.*, *7*, 27-56. doi: https://www.researchgate.net/publication/338630826

Amonmide, I., Dagbenonbakin, G., Agbangba, C., & Akponikpe, P. (2019). Contribution à l'évaluation du niveau de fertilité des sols dans les systèmes de culture à base du coton au Bénin. *IJBCS*, *13*(3), 1846-1860. doi: https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v13i3.52

Atakpama, W., Pereki, H., Folega, F., Novotny, I. P., Diwediga, B., Attisso, A., . . . Batawila, K. (2023). Is Mulching a Cost-Effective System? Case Study of Pineapple Cropping Systems of the Donomadè Ecovillage in Yoto Prefecture in Togo, West Africa. *Preprint*. doi: https://dx.doi.org/10.20944/preprints202309.1428.v1

Atsri, H. K., Abotsi, K. E., & Kokou, K. (2018). Enjeux écologiques de la conservation des mosaïques forêt-savane semi-montagnardes au centre du Togo (Afrique de l'Ouest). *JAPS*, *38*(1), 6112-6128. doi: http://m.elewa.org/Journals/wp-content/uploads/2018/09/6.Atsri_.pdf

Awan, T. H., Sta Cruz, P. C., & Chauhan, B. S. (2024). Influence of *Echinochloa crus-galli* density and emergence time on growth, productivity and critical period of competition with dry-seeded rice. *Int. J. Pest Manag.*, *70*(2), 167-179. doi: https://doi.org/10.1080/09670874.2021.1969469

Ballot, C. S. A., Mawussi, G., Atakpama, W., Moita-Nassy, M. L., Yangakola, T. M., Zinga, I., . . . Akpagana, K. (2016). Caractérisation physico-chimique des sols en vue de l'amélioration de la productivité du manioc (*Manihot esculenta* Crantz) dans la région de damara au centre-sud de Centrafrique. *Agron. Afr.*, *28*(1), 9-23. doi: https://www.ajol.info/index.php/aga/article/view/164135

Banerjee, M., Bhuiya, G. S., Malik, G., Maiti, D., & Dutta, S. (2014). Precision nutrient management through use of LCC and nutrient expert in hybrid maize under laterite soil of India. *Univ. J. Food Nut. Sci.*, *2*(2), 33-36.

Biswas, S., Sharma, L. K., Ranjan, R., Saha, S., Chakraborty, A., & Banerjee, J. S. (2021). Chapter 20 - Smart farming and water saving-based intelligent irrigation system implementation using the Internet of Things. In S. Bhattacharyya, P. Dutta,

D. Samanta, A. Mukherjee & I. Pan (Eds.), *Rec. Trends Comp. Intel. Enab. Res.* pp. 339-354, doi: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822844-9.00043-8

Dahal, K., Juhola, S., & Niemelä, J. (2018). The role of renewable energy policies for carbon neutrality in Helsinki Metropolitan area. *Sust. Cit. Soc.*, *40*, 222-232. doi: https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.04.015

Dembélé, D. M. (2001). Le financement du développement et ses alternatives: le rôle des mouvements sociaux et politiques. *Alt. Sud.*, *8*(3), 229-251.

Dobermann, A. R. (2005). Nitrogen use efficiency-state of the art. *Agron. Fac. Pub.*, 316. https://digitalcommons.unl.edu/agronomyfacpub/316

Doucet, A. (2006). 'Estrogen-filled worlds': fathers as primary caregivers and embodiment. *Socio. Rev.*, *54*(4), 696-716.

Dourma, M., Batawila, K., Guelly, K. A., Bellefontaine, R., Foucault, B. d., & Akpagana, K. (2012). La flore des forêts claires à *Isoberlinia* spp. en zone soudanienne au Togo. *Acta Bot. Gal.*, *159*(4), 395-409. doi: http://dx.doi.org/10.1080/12538078.2012.737118

Ern, H. (1979). Die Vegetation Togos, Gliederung, Gefährdung, Erhaltung. *Willdenowia*, *9*, 295-315. doi: https://doi.org/10.2307/3995654

Ezeh, A. C., Bongaarts, J., & Mberu, B. (2012). Global population trends and policy options. *The Lancet*, *380*(9837), 142-148. https://www.academia.edu/download/105043851/Global_20population_20trends_20and_20policy_20options.pdf

Fairhurst, T. (2015). *Manuel de gestion integrée de la fertilité des sols.* Nairobi: AFRICA healthsoil consortium. https://cgspace.cgiar.org/bitstreams/83d048c5-a924-447e-b0a6-e01c4b064d5e/download

Gbakatchetche, H., Sanogo, S., Camara, M., Bouet, A., & Keli, J. (2010). Effet du paillage par des résidus de pois d'angole (*Cajanus cajan* L.) sur le rendement du riz (*Oryza sativa*) pluvial en zone forestière de Côte d'Ivoire. *Agron. Afr.*, *22*(2), 131-137.

Ilunga, T. H., Banza, M. J., Lukusa, M. L., Mukunto, K. I., Malonga, H. L. k., Kanyenga, L. A., & Nyembo, K. L. (2018). Influence du moment d'application du NPK sur la croissance et le rendement du maïs (*Zea mays* L.) installé sur un ferralsol. *J. Appl. Biosci.*, *127*, 12794-12803. doi: https://dx.doi.org/10.4314/jab.v127i1.4

Kalombo, D. K., Mwenya, I. K., Tchowa, J. K., & Mukenza, M. M. (2023). Étude comparative de l'efficacité et de la durabilité des fumures organiques versus engrais chimiques dans le maraîchage de la commune de Kasenga (Haut-Katanga, RD Congo). *J. Appl. Biosci.*, *189*, 19973-19987. doi: https://doi.org/10.35759/JABs.189.7

Kam, K. E. (2016). *Evaluation de l'efficacite des doses d'engrais pour la production de riz pluvial a l'ouest du Burkina-Faso.* Mémoire d'Ingénieur, Universite Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina-Faso, 53 p. https://bibliovirtuelle.u-nazi-boni.bf/biblio/opac_css/docnume/idr/environnement/IDR-2016-KAM-EVA.pdf

Khanal, S., Dhakal, B., Bhusal, K., & Amgain, L. P. (2017). Assessment of yield and yield attributing characters of hybrid maize using Nutrient Expert® Maize Model in Eastern Terai of Nepal. *Int. J. Env. Agri. Biotech.*, *2*(5), 2706-2709. doi: https://doi.org/10.22161/ijeab/2.5.54

Kitabala, M. A., Tshala, U. J., Kalenda, M. A., Tshijika, I. M., & Mufind, K. M. (2016). Effets de différentes doses de compost sur la production et la rentabilité de la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) dans la ville de Kolwezi, Province du Lualaba (RD Congo). *J. Appl. Biosci.*, *102*(1), 9669–9679. doi: http://dx.doi.org/10.4314/jab.v102i1.1

Kombate, B., Atakpama, W., Klevor, K. J. A., Egbelou, H., Kanda, M., Dourma, M., . . . Akpagana, K. (2024). Feu de végétation entraîne la dégradation et la déforestation du Parc National Fazao-Malfakassa (PNFM) au Togo. *AJLP-GS*, *7*(7), 218-229. doi: https://doi.org/10.48346/IMIST.PRSM/ajlp-gs.v7i1.44414

Kombate, B., Dourma, M., Folega, F., Atakpama, W., Wala, K., Batawila, K., & Akpagana, K. (2022). Modélisation spatiale multifactorielle de la vulnérabilité des unités d'occupation du sol face au changement climatique dans la Région Centrale au Togo. *Rev. Écosyst. Pays.*, *2*(2), 34-52. https://lbev-univlome.com/wp-content/uploads/2022/12/Kombate-et-al.pdf

Konkobo, J., Somé, Y. S. C., & Idani, T. F. (2023). Évaluation de l'état de dégradation de la fertilité chimique des sols dans la commune rurale de Kouka (Burkina Faso). *IJISRR*, *05*(05), .4522-4529. http://www.journalijisr.com/sites/default/files/issues-pdf/IJISRR-1242.pdf

Kouyate, A. B., Dembele, S. G., Doumbia, S., Camara, B., & Famanta, M. (2021). Effet des émondes de *Gliricidia sepium* sur la production du maïs dans la zone Soudano-Sahélienne du Mali. *Afrique SCI.*, *18*(5), 144-158. https://www.afriquescience.net/PDF/18/5/10.pdf

Lamouroux, M. (1969). *Note explicative N 34 : Carte pédologique du Togo au 1/1.000.000*. Paris, France: ORSTOM.

Lare, M., Sogbedji, J. M., Lotsi, K., Gohn-Goh, A. A., Amouzou, K. A., & Agneroh, T. A. (2022, December). Analyse de la variabilite spatiale des rendements de maïs (*Zea mays* L.) dans les regions des Savanes et Centrale au Togo. In *2nd African Conference on Precision Agriculture (AfCPA)* (p. 9).

Macauley, H., & Ramadjita, T. (2015). *Cereal crops: Rice, maize, millet, sorghum, wheat*. Dakar, Sénégal. https://ir.ucc.edu.gh/xmlui/bitstream/handle/123456789/4510/Cereal_Crops-_Rice__Maize__Millet__Sorghum__Wheat.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Miningou, A., Golane, V., Traore, A. S., & Kambire, H. (2020). Determination of the optimal dose and date of application of mineral manure on sesame (*Sesamum indicum* L.) in Burkina Faso. *IJBCS, 14*(9), 2992-3000. doi: https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v14i9.3

Mukenza, M. M., Mwenya, I. K., Kalumbu, J. T., Misonga, A. K., Sikuzani, Y., & Kaleba, C. (2021). Perception de la dégradation de la fertilité des sols et de sa gestion par les agriculteurs de la cité de Kasenga en République Démocratique du Congo. *Geo-Eco-Trop, 45*(2), 211-220. http://www.geoecotrop.be/uploads/publications/pub_452_02.pdf

Mulaji Kyela, C. (2011). *Utilisation des composts de biodéchets ménagers pour l'amélioration de la fertilité des sols acides de la province de Kinshasa (République Démocratique du Congo).* PhD, Univ. Liége-Gembloux Agro-Bio Tech., Bruxelles, 172 p.

Nyembo, K. L., Useni, S. Y., Mpundu, M. M., Bugeme, M. D., Kasongo, L. E., & Baboy, L. L. (2012). Effets des apports des doses variées de fertilisants inorganiques (NPKS et Urée) sur le rendement et la rentabilité économique de nouvelles variétés de *Zea mays* L. à Lubumbashi, Sud-Est de la RD Congo. *J. Appl. Biosci., 59*, 4286-4296. https://www.m.elewa.org/JABS/2012/59/2.pdf

Ojo, J. A., Olowoake, A. A., & Obembe, A. (2014). Efficacy of organomineral fertilizer and un-amended compost on the growth and yield of watermelon (Citrullus lanatus Thumb) in Ilorin Southern Guinea Savanna zone of Nigeria. *Int. J. Recycl. Org. Waste Agricult., 3*, 121-125. doi: https://doi.org/10.1007/s40093-014-0073-z

Oka, Y. (2010). Mechanisms of nematode suppression by organic soil amendments—A review. *Appl. Soil Ecol., 44*(2), 101-115. doi: https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2009.11.003

Organization, W. H. (2005). Fruit and vegetables for health: report of the Joint FAO. (pp. 1-46). Kobe, Japan: FAO/WHO. https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/43143/9241592818_eng.pdf

Padakale, E., Atakpama, W., Dourma, M., Dimobe, K., Wala, K., Guelly, A. K., & Akpagana, K. (2015). Woody species diversity and structure of *Parkia biglobosa* Jacq. Dong parklands in the sudanian zone of Togo (West Africa). *ARRB, 6*(2), 103-114. doi: https://doi.org/10.9734/ARRB/2015/14105

Pampolino, M. F., Witt, C., Pasuquin, J. M., Johnston, A., & Fisher, M. J. (2012). Development approach and evaluation of the Nutrient Expert software for nutrient management in cereal crops. *Comp. Elect. Agri., 88*, 103-110. doi: https://doi.org/10.1016/j.compag.2012.07.007

Pooniya, V., Choudhary, A. K., Dass, A., Bana, R. S., Rana, K. S., Rana, D. S., . . . Puniya, M. M. (2015). Improved crop management practices for sustainable pulse production: An Indian perspective. *IJAS, 85*(6), 747-458. doi: https://doi.org/10.56093/ijas.v85i6.49184

Pooniya, V., Jat, S., Choudhary, A. K., Singh, A. K., Parihar, C. M., Bana, R., . . . Rana, K. S. (2015). Nutrient Expert assisted site-specific-nutrient-management: An alternative precision fertilization technology for maize-wheat cropping system in South-Asian Indo-Gangetic Plains. *IJAS, 85*(8), 996-1002. doi: https://doi.org/10.56093/ijas.v85i8.50796

Sadi, S. M., Saidou, A. K., Boube, M., & Aune, J. B. (2020). Effets de la Fertilisation à Base de la Biomasse du Sida cordifolia L. sur les Performances Agronomiques et la Rentabilité Économique de la Tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) en Culture Irriguée. *ESJ, 16*(3), 127. doi: https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n3p127

Santpoort, R. (2020). The Drivers of Maize Area Expansion in Sub-Saharan Africa. How Policies to Boost Maize Production Overlook the Interests of Smallholder Farmers. *Land, 9*(3). doi: https://doi.org/10.3390/land9030068

Satyanarayana, G. V., & Mazaruddin, S. D. (2013). *Wireless sensor based remote monitoring system for agriculture using ZigBee and GPS.* Paper presented at the Conference on Advances in Communication and Control Systems (CAC2S 2013).

Shende, S. M., Satpute, A. V., Murade, N. B., & Shende, S. M. (2023). Nutrient Use Efficiency, Partial Factor Productivity and Internal Utilization Efficiency of Rice (*Oryza Sativa* L.) Influenced by Varieties and Fertilizer Levels Under Dry Seeded Condition. *J. Agri. Res. Tech.* Special issue (1), 9-17.

Tchowa, J. K., Mukenza, M. M., Kazadi, G. M., Mutombo, G. M., Kalombo, D. K., Kabeya, C. K., & Kanyimbu, D.K. (2023) E Effets de la dose d'urée et de la fréquence de sarclage sur le rendement et l'efficience d'utilisation de l'azote chez le maïs (*Zea mays* L.) dans l'hinterland de Kolwezi, RD Congo *J. Oasis Agri. Sust. Dev., 5*(5), 35–49. doi: https://doi.org/10.56027/JOASD.292023

Torbert, H. A., Potter, K. N., & Morrison, J. E. (2001). Tillage system, fertilizer nitrogen rate, and timing effect on corn yields in the Texas Blackland Prairie. *Agron. J., 93*(5), 1119-1124. https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/60100500/csr/ResearchPubs/torbert/torbert_01f.pdf

Toundou, O., Tozo, K., Amouzouvi, K. A., Kolani, L., Tchangbedji, G., Kili, K., & Gnon, B. (2014). Effets de la biomasse et du compost de *Cassia occidentalis* L. sur la croissance en hauteur, le rendement du maïs (*Zea mays* L.) et la teneur en NPK d'un sol dégradé en station expérimentale. *ESJ, 10*(3), 294-308. doi: https://doi.org/10.19044/esj.2014.v10n3p%p

Van Eynde, E., Breure, M. S., Chikowo, R., Njoroge, S., Comans, R. N. J., & Hoffland, E. (2023). Soil zinc fertilisation does not increase maize yields in 17 out of 19 sites in Sub-Saharan Africa but improves nutritional maize quality in most sites. *Plant Soil*. doi: https://doi.org/10.1007/s11104-023-06050-2

Vikram, P., Swamy, B. P. M., Dixit, S., Singh, R., Singh, B. P., Miro, B., . . . Kumar, A. (2015). Drought susceptibility of modern rice varieties: an effect of linkage of drought tolerance with undesirable traits. *Sci. Rep., 5*(1), 14799. doi: https://doi.org/10.1038/srep14799

Wala, K., Woegan, A. Y., Borozi, W., Dourma, M., Atato, A., Batawila, K., & Akpagana, K. (2012). Assessment of vegetation structure and human impacts in the protected area of Alédjo (Togo). *African J. Ecol., 50*(3), 355-366. doi: https://doi.org/10.1111/j.1365-2028.2012.01334.x

Xu, X., He, P., Pampolino, M. F., Johnston, A. M., Qiu, S., Zhao, S., . . . Zhou, W. (2014). Fertilizer recommendation for maize in China based on yield response and agronomic efficiency. *Field Crops Res., 157*, 27-34. doi: https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.12.013

Yannick, U. S., Louis, B. L., Luciens, N. K., & Mubemba, M. (2012). Effets des apports combinés de biodéchets et de fertilisants inorganiques sur le rendement de trois variétés de *Zea mays* L. cultivées dans la région de Lubumbashi. *J. Appl. Biosci., 54*, 3935-3943. doi: https://www.m.elewa.org/JABS/2012/54/10.pdf

Zimar, T. (2023) *Réponses du maïs (Zea mays L.) à desdoses croissantes d'engrais définies selon l'état de fertilité des sols de la région maritime du Togo*. Mémoire de master en science agronomique, Université de Lomé, 47 p

Zinzindohoue, E. (2012). *Etat des lieux de la sécurité alimentaire dans le département de l'Atacora (au nord ouest du Bénin) et analyse des politiques publiques.* Master, CERAH Centre d'enseignement et de recherche en action humanitaire de Genève, Suisse, 45 p.